



Service an CD-Plattenspielern:

Keine Angst vor der Compact Disc

Teil 1

Länger als 100 Jahre beherrschten Analogverfahren die Tonaufzeichnung. Jetzt aber kommen digital arbeitende Plattenspieler auf den Markt, die auch den Service-Techniker zum Umdenken zwingen.

Die Kompakt-Schallplatte (auch CD genannt, CD = Compact Disc) ermöglicht bei 120 mm Plattendurchmesser eine volle Stunde Spielzeit, und dies mit extrem geringen Verzerrungen, mehr als 90 dB Dynamik und einer ebenso hohen Kanaltrennung. Die bei den CD-Plattenspielern benutzte Technik ist nur zum Teil mit der vergleichbar, die man über Jahrzehnte hinweg in Geräten der Unterhaltungselektronik gewohnt war. Daher soll nachfolgend zunächst die prinzipielle Arbeitsweise dieser neuen Tonaufzeichnungstechnik in Erinnerung gerufen werden.

Das Tonsignal wird digitalisiert

Bei der herkömmlichen Analogtechnik muß jeder Augenblickswert eines Signals zeitlich zusammenhängend so originalgetreu wie möglich vom Anfang des Übertragungsweges bis zu seinem Ende gebracht werden. Mängel der einzelnen Übertragungsglieder machen sich durch lineare und nicht-lineare Verzerrungen sowie durch einen Störpegel bemerkbar. Bei der Analog-Schallplatte sind es vor allem der Aufzeichnungs-, der Herstellungs- und der Abtastprozeß sowie Verformung und Verschleiß, die zu Verzerrungen führen, während der Störpegel hauptsächlich durch Ungleichförmigkeiten des Plattenmaterials, statische Aufladung, Verschleiß und Oberflächenverschmutzung geprägt wird.

Tastet man nun ein solches Analogsignal in sehr kurzen zeitlichen Ab-

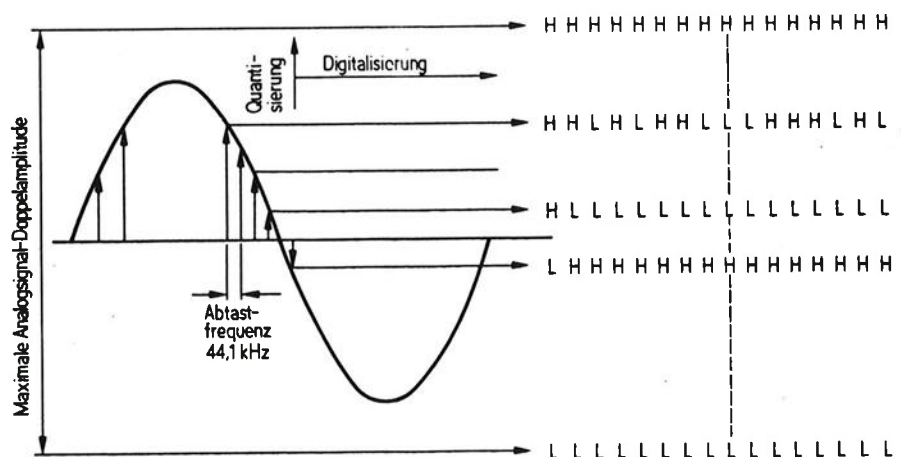
ständen ab und speichert den bei jeder Abtastung gefundenen Augenblickswert kurzzeitig (Sample-and-Hold-Verfahren), dann hat man bei dem heutigen Stand der schnellen Analog/Digital-Umsetzertechnik die Möglichkeit, für jeden dieser Augenblickswerte ein Digitalwort mit ausreichend großer Auflösung zu bilden. Anstelle des zeitlich kontinuierlichen Analogsignals kann dann eine Folge von Digitalworten übertragen werden.

Digitalworte bestehen nun aber lediglich aus Impulsfolgen mit zwei Zuständen: H bedeutet, daß eine bestimmte Spannung vorhanden ist, und L, daß keine Spannung vorliegt. Auf die genaue Höhe des H- und des L-Pegels kommt es dabei gar nicht so genau an – nur darauf, daß sich beide

Pegel voneinander unterscheiden lassen. Dann nämlich läßt sich eine bezüglich ihrer Amplituden oder Flankenverläufe durch irgendwelche Einflüsse veränderte Impulsfolge jederzeit mit einfachen Mitteln „regenerieren“. Mit einem gewissen Zusatzaufwand sind auch verlorengegangene oder durch Störsignale in die Folge gelangte Impulse (Bits) und sogar fehlerhafte Worte (zusammengehörende Bitfolgen) zu korrigieren.

Bild 1 veranschaulicht die Digitalisierung eines einfachen Sinussignals. In durch die Abtastfrequenz bestimmten, kurzen zeitlichen Abständen wird der Spannungsverlauf abgetastet. Jede Abtastung liefert den entsprechenden Augenblickswert des Signals und hält ihn kurzzeitig fest. Der gesamte Spannungsbereich zwischen dem negativen beziehungsweise dem positiven Maximalwert der Amplitude ist in feine Spannungsstufen unterteilt, wobei sich jeder der bei der Abtastung gefundenen Augenblickswerte einer dieser Spannungsstufen zuordnen läßt. Diesen Vorgang nennt man „Quantisierung“. Als letztes bleibt jetzt nur noch, jeder der Quantisierungsstufen ein Digitalwort, also eine entsprechende Impulsfolge zuzuordnen.

An sich also ist die Digitalisierung eines Tonsignals nicht allzu schwierig. Zur Wiedergabe des so entstandenen Digital-Tonsignals – etwa beim Abspielen einer CD-Schallplatte – muß man allerdings das Signal, da ja herkömmliche Verstärker und Lautsprecher verwendet werden sollen, durch D/A-Umsetzung (D/A = Digital/Ana-



① **Quantisierung und Digitalisierung:** Der maximale Bereich der Doppelamplitude ist in $2^{16} = 65\,536$ Spannungsstufen unterteilt. Jeder der im Abstand von $22,7\,\mu\text{s}$ (Abtastfrequenz $44,1\,\text{kHz}$) gefundenen Augenblickswerte des Analogsignals fällt in eine dieser Spannungsstufen, von denen jeder ein entsprechendes 16-Bit-Wort aus H- und L-Zuständen zugeordnet ist



log) wieder in ein Analog-Tonsignal zurückwandeln. In diesem Zusammenhang aber sind nun einige Punkte zu beachten.

So läßt sich beispielsweise das ursprüngliche Analogsignal nur dann originalgetreu zurückgewinnen, wenn die Abtastfrequenz bei der Digitalisierung mindestens doppelt so hoch wie die höchste im Analogsignal vorkommende Frequenz ist (Abtast-Theorem). Außerdem entspricht naturgemäß ein aus dem Digitalsignal zurückgewonnenes Analogsignal dem Original um so

genauer, je feiner die Quantisierung erfolgte: Die Verfälschungen des Spannungsverlaufs sind also um so geringer, je höher die Stufenzahl ist, in welche der Gesamtbereich der maximalen Doppelamplitude des Originalsignals unterteilt wurde.

Darüber hinaus ist zu bedenken, daß die Quantisierung jedes Augenblickswertes eine gewisse Auf- oder Abrundung bedeutet. Wie in Bild 2 zu erkennen ist, wird kaum jemals ein Augenblickswert des Originalsignals genau dem Wert der entsprechenden Quanti-

sierungsstufe entsprechen. Da nun bei der Rückgewinnung des Analogsignals aus dem Digitalsignal der D/A-Umsetzer die ihm angelieferten Digitalworte exakt in Augenblicksspannungen „übersetzt“, liefern diese „Quantisierungsfehler“ gewisse Abweichungen vom Originalspannungsverlauf, also ein als „Quantisierungsgeräusch“ bezeichnetes Störsignal. Es ist um so schwächer, je feiner die Quantisierung erfolgte.

Beim CD-Plattenspieler XR-Z90 (Toshiba) wird beispielsweise mit einer Abtastfrequenz von 44,1 kHz und mit einer Auflösung von 16 Bit quantisiert. Dies bedeutet, daß Originalsignal-Frequenzen bis zu 20 kHz übertragen werden können. Abweichungen des zurückgewonnenen Analogsignals vom Originalsignal machen lediglich $1:2^{16} = 1:65\,536 = 1,526 \times 10^{-5}$ aus, und das Quantisierungsgeräusch beträgt theoretisch nur -98 dB.

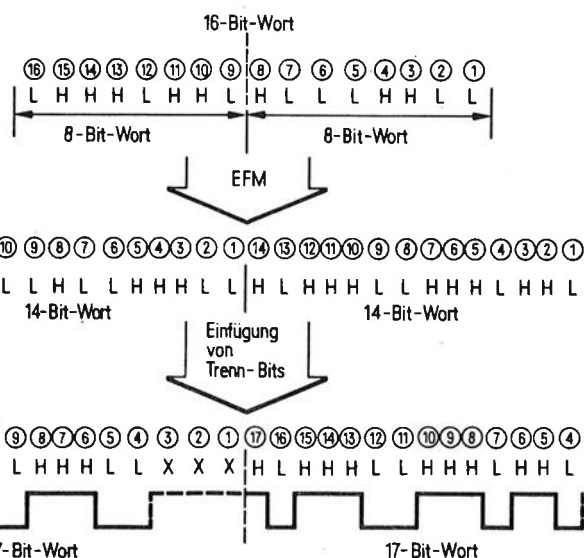
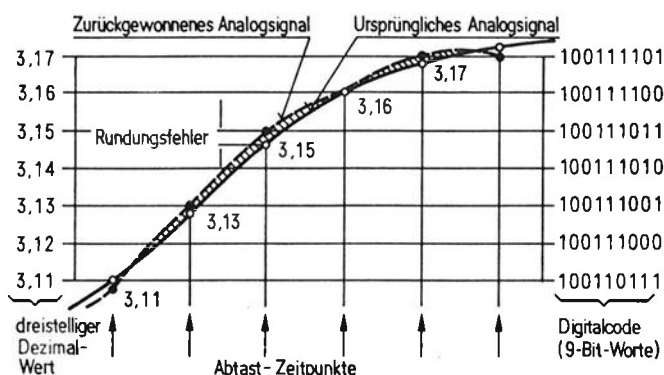
Der Trick: Umsetzung in 14-Bit-Wörter

② **Quantisierungsgeräusch:** Die Einordnung der Analogsignal-Augenblickswerte in endlich viele Spannungsstufen bedeutet für jeden eine gewisse, wenn auch geringfügige Auf- oder Abrundung. Bei der späteren Rückgewinnung des Analogsignals aus dem Digitalsignal entstehen deshalb Störspannungen. Sie sind um so geringer, je feiner die Quantisierung erfolgt

Bei der Digitalisierung wurde das Analog-Tonsignal in 16-Bit-Wörter umgesetzt. Dieses Digitalsignal eignet sich aber noch nicht ohne weiteres zur Aufzeichnung: Ungünstige Impulsverteilungen können im zeitlichen Mittel niederfrequente und sogar Gleichstromkomponenten verursachen, welche dann die Signalverarbeitung beeinträchtigen. Eine Korrektur fehlerhaft übertragener Bits oder Wörter ist an diesem Signal nicht möglich. Nach einem von Sony und Philips gemeinsam erarbeiteten Verfahren wird das 16-Bit-Signal deshalb vor der Aufzeichnung aufbereitet.

Bild 3 veranschaulicht die einzelnen Aufbereitungsschritte. Zunächst einmal teilt man jedes 16-Bit-Wort in zwei 8-Bit-Wörter auf (Bild 3 oben). Dann wird nach einem festen Schema jedes dieser 8-Bit-Wörter in ein 14-Bit-Wort so umgesetzt, daß jedes der neuen 14-Bit-Wörter mindestens zwei, höchstens aber zehn L-Signale enthält (Bild 3 Mitte). Schließlich werden dann noch zwischen je zwei der so entstandenen 14-Bit-Blocks drei weitere Trenn-Bits eingefügt; sie werden so gewählt, daß unter anderem die oben erwähnte L-Stellen-Bedingung auch zwischen je zwei Blocks erfüllt ist.

Aus jedem bei der Quantisierung des Analog-Tonsignals gewonnenen 16-



③ **8/14-Bit-Umsetzung:** Um durch ungünstige L- und H-Zustandsverteilungen bedingte niederfrequente oder Gleichspannungs-Komponenten im Digitalsignal zu vermeiden, werden die 16-Bit-Wörter zunächst in je zwei 8-Bit-Wörter aufgeteilt und diese dann wieder nach einem per Computer errechneten Schema in 14-Bit-Wörter umcodiert, welche diesen Nachteil vermeiden. Drei zusätzliche Trenn-Bits sorgen dafür, daß diese Forderung auch an der Trennstelle zwischen je zwei 14-Bit-Wörtern erfüllt ist



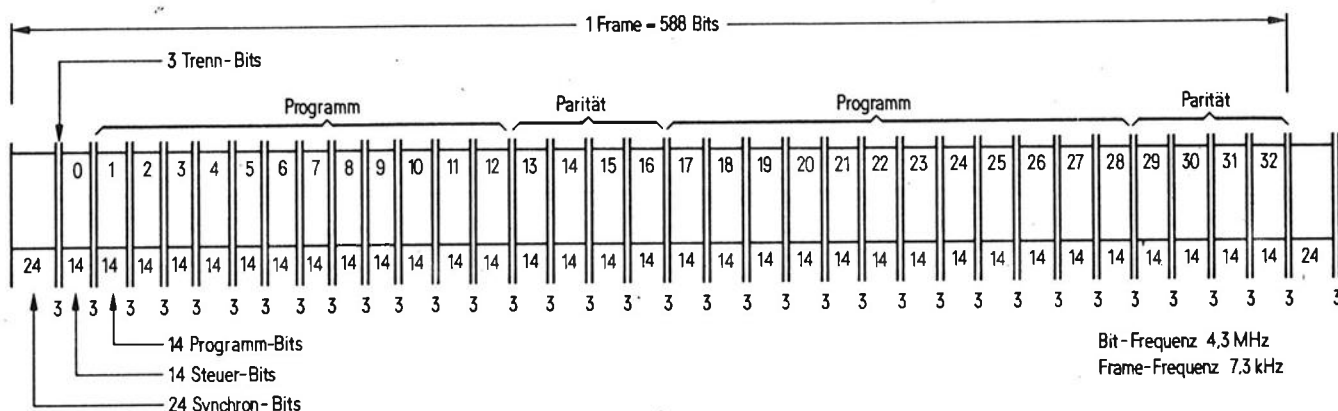
Bit-Wort sind auf diese Weise zwei 14-Bit-Worte mit drei zusätzlichen Trenn-Bits entstanden, bei denen jetzt aber die H- und die L-Signale so gleichmäßig verteilt sind, daß niederfrequente oder Gleichstromkomponenten nicht mehr auftreten.

Ein Signal der beschriebenen Art zeigt aber noch einen wesentlichen Nachteil: Wird bei seiner Übertragung nur ein einziges Bit verfälscht, dann

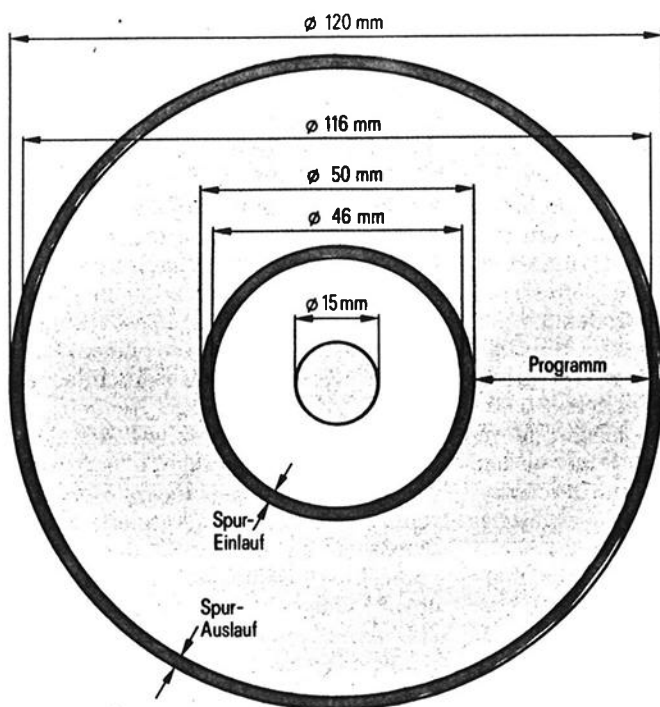
ändert sich das gesamte Signal, und nach Ausfall einer längeren Folge von Bits – beispielsweise durch „Drop Out“ – läßt sich ein solches Signal überhaupt nicht mehr richtig zurückgewinnen.

Dieser Nachteil wird durch Aufteilen des bisher noch ständig fortlaufenden Digitalsignals in kurze Bitblöcke vermieden, welche „Frames“ genannt

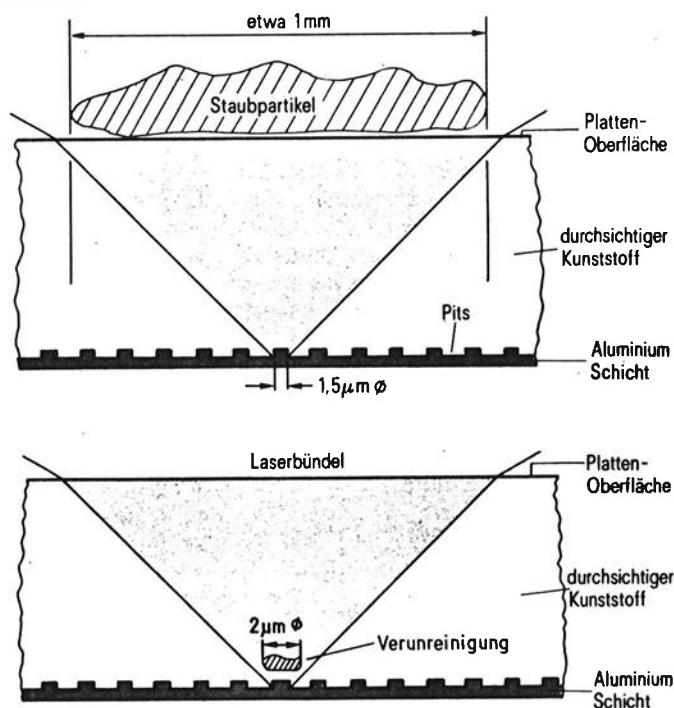
werden. Bild 4 zeigt den Aufbau eines solchen Frames. Er beginnt jedesmal mit einer Folge von 24 Frame-Synchron-Bit. Unter Zwischenschaltung von jeweils drei Trenn-Bits folgen dann 14 Steuer-Bit mit Kennworten für die Programmstelle, zur Steuerung der an der Signalerückgewinnung beteiligten zwei Mikroprozessoren und ähnlichem. Dann folgen 12 Programm-Bitworte mit je 14 Bit, vier Paritäts-Bit-



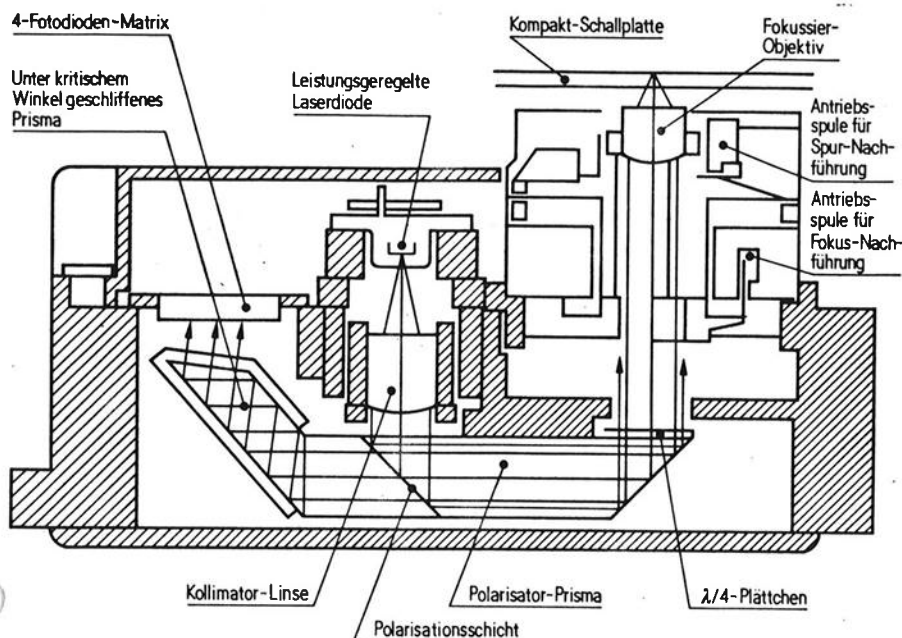
④ **Signalaufteilung in Frames:** Durch Aufteilung des Digitalsignals in kurze Gruppen (Frames), welche jeweils mit 24 Synchron-Bit beginnen, ist sichergestellt, daß nach einer kurzen Digitalsignalstörung die Abspiel-Elektronik wieder richtig synchronisiert werden kann. Zwei Gruppen von je vier Paritäts-Bitworten ermöglichen bei der Wiedergabe etwa erforderliche Signalkorrekturen. Die je drei Trenn-Bits zwischen den einzelnen Bitworten sind hier getrennt dargestellt.



⑤ **Kompakt-Schallplatte:** Die nur 1,2 mm dicke Platte aus durchsichtigem Polycarbonat wird entgegen dem Uhrzeigersinn von innen nach außen mit konstanter Spurgeschwindigkeit abgespielt: Innen mit etwa 500 U/min, außen mit etwa 200 U/min.



⑥ **Abtastung mit fokussiertem Laserbündel:** Erst im Inneren der durchsichtigen Kompakt-Schallplatte – auf einer reflektierenden Aluminiumschicht – erreicht das fokussierte Laserbündel seinen kleinsten Durchmesser von etwa 1,5 µm. Kleine Schmutzpartikel auf der Oberfläche beeinträchtigen die Wiedergabe deshalb kaum.



⑦ **Laser-Abtastkopf:** Zur Abtastung von Kompakt-Schallplatten dient das scharf gebündelte Licht einer GaAlAs-Laserdiode. Die Trennung von vor- und zurücklaufendem Bündel erfolgt mit polarisationsoptischen Methoden. Der Abtastkopf wird mit Hilfe von Elektromotor, Getriebe und Stahlseil radial zur Platte bewegt (hier nicht eingezeichnet). Zwei elektromagnetische Spulen gestatten axiale und radiale Nachsteuerung des Fokussier-Objektivs, um Fokus- und Spurfehler automatisch auszugleichen

worte mit je 14 Bit für die Fehlerkorrektur, weitere 12 Programm-Bitworte und dann noch einmal vier Paritäts-Bitworte. Insgesamt umfaßt ein Frame demnach 24 Synchron-Bit, 14 Steuer-Bit, 336 Programm-Bit, 112 Paritäts-Bit und 102 Trenn-Bit; zusammen sind dies 588 Bit. Bild 4 zeigt also einen Ausschnitt des endgültigen Digitalsignals, wie es schließlich auf der Kompakt-Schallplatte aufgezeichnet wird. Die Synchron-Bits ermöglichen der Signalerückgewinnungs-Elektronik, nach einem gestörten Frame wieder „Tritt zu fassen“, die Paritäts-Bits eine weitgehende Korrektur fehlerhafter Bits bei der Signalerückgewinnung.

Kompakt-Schallplatten haben keine Rillen

Ungewohnt ist schon das Äußere der neuen Kompakt-Schallplatte: Sie hat einen Durchmesser von nur 120 mm, ist 1,2 mm dick (Bild 5) und schimmert bei geeigneter Beleuchtung in allen Regenbogenfarben. Außerdem wird sie, im Gegensatz zu herkömmlichen

Schallplatten, von innen nach außen mit konstanter Spurgeschwindigkeit abgespielt: Am Anfang (innen) dreht sie sich mit etwa 500 U/min, am Ende (außen) mit etwa 200 U/min – und dies auch noch entgegengesetzt zum Uhrzeigersinn.

Zur Speicherung der Musikinformation dient hier keine spiralförmige um den Mittelpunkt geführte Spurrille, sondern eine gemäß Bild 6 im Platteninneren angebrachte, lichtreflektierende Aluminiumschicht. Sie trägt die Digital-Informationen in Form von winzigen, nur etwa 0,1 µm tiefen, 0,5 µm breiten und 0,9...3,3 µm langen Vertiefungen, den sogenannten „Pits“, welche mit einem auf rund 1,5 µm Durchmesser fokussierten Laserbündel abgetastet werden.

Wie man im (allerdings nicht maßstabgetreuen) Bild 6 erkennen kann, ist der Laserbündel-Durchmesser an der Plattenoberfläche mit rund 1 mm noch weit größer als im Fokus auf der Aluminiumschicht. Schwache Verunreinigungen auf der Oberfläche, etwa feine Kratzer, einzelne Schmutzpartikel o. ä., können deshalb die Abtastung kaum beeinträchtigen. Im Platteninneren, unmittelbar vor der Aluminium-

schicht allerdings führen bereits kleinste Störstellen von der Größenordnung 1 µm zu fehlerhafter Wiedergabe; die Plattenherstellung muß deshalb unter Reinraum-Bedingungen erfolgen.

Bild 7 zeigt einen Querschnitt durch den Laser-Abtastkopf. Man erkennt, wie hier mit Hilfe einer justierbaren Kollimatorlinse das linear polarisierte 780-nm-Licht einer GaAlAs-Laserdiode zunächst parallel gebündelt und dann einem Spezialprisma zugeführt wird. Da seine Polarisationsrichtung senkrecht zur Einfallsebene justiert ist, wird es von einer hier angebrachten Polarisations-schicht reflektiert und (in dieser Skizze nach rechts) umgelenkt. Nach Totalreflexion an der (in dieser Skizze rechten) Endfläche tritt es aus dem Prisma aus, durchläuft ein sogenanntes λ/4-Plättchen und gelangt dann zum Fokussier-Objektiv kurzer Brennweite. Dieses Objektiv bündelt das Licht, so daß es nach Eintreten in den lichtdurchlässigen Kunststoff (Polycarbonat) der Kompakt-Schallplatte auf deren Aluminiumschicht zu einem winzigen Brennfleck von nur etwa 1,5 µm gebündelt wird. Hier wird das Licht reflektiert und läuft den gleichen Weg zurück bis zur Polarisations-schicht im Prisma.

Auf seinem bisherigen Weg hat das Licht nun das λ/4-Plättchen zweimal durchlaufen – einmal auf dem Hin- und einmal auf dem Rückweg. Dies hat zur Folge, daß die Polarisationsrichtung des jetzt zur Polarisations-schicht zurückgelangenden Lichts gegenüber dem von der Laserdiode kommenden um 90° gedreht ist und von der Polarisations-schicht nun nicht zum Laser zurückgespiegelt, sondern durch die Polarisations-schicht durchgelassen wird. Nach dreimaliger Reflexion in einem unter kritischem Winkel geschliffenen (in der Skizze links gezeichneten) Prisma gelangt es deshalb schließlich zu einer Fotodioden-Matrix.

Die Pits in der reflektierenden Aluminiumschicht im Inneren der Kompakt-Schallplatte haben eine Tiefe von rund λ/8. Trifft das fokussierte Lichtbündel auf ein solches Pit, dann hat es beim Hin- und Rücklauf einen entsprechend längeren Weg zurückzulegen, als wenn es auf die nicht vertiefte Aluminium-Oberfläche trifft. Diese Wegdifferenz macht sich durch Überlagerung von hin- und rücklaufender Lichtwelle als Intensitätsmodulation bemerkbar, welche von der Fotodioden-Matrix zu einem entsprechenden elektrischen Signal umgewandelt wird. (Schluß folgt)